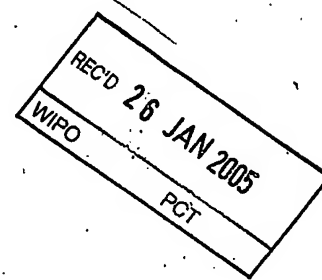


10/58

PCT/EP200. 5 / 0 0 0 4 3 9

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 10 2004 003 941.0
Anmeldetag: 26. Januar 2004
Anmelder/Inhaber: Carl Zeiss Industrielle Meßtechnik GmbH,
73734 Esslingen/DE
Bezeichnung: Bestimmung von Koordinaten eines
Werkstücks
IPC: G 01 B 21/04

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 28. Oktober 2004
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Schäfer

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

A 9161
08/00
EDV-L

Anmelderin:

Carl Zeiss Industrielle Meßtechnik GmbH
73734 Esslingen

Bestimmung von Koordinaten eines Werkstücks

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Messanordnung zum Bestimmen von Koordinaten eines Werkstücks.

Insbesondere um Abmessungen und Formmerkmale eines Gegenstandes erfassen zu können, werden Koordinatenmessgeräte eingesetzt, die eine oder mehrere Oberflächen des Gegenstandes abtasten (z. B. berührungslos optisch oder durch berührendes Antasten der Oberfläche).

Es sind auch sogenannte alternative Messmethoden vorgeschlagen worden, bei denen eine von einer Strahlungsquelle erzeugte Messstrahlung das Material des Gegenstandes durchdringt. Beispielsweise beschreibt US 6,341,153 B1 ein System zur nicht zerstörenden Untersuchung von Teilen, wobei ein dreidimensionales Computertomografie-Bildgebungsverfahren angewendet wird. Das System weist einen tragbaren Prozessor mit einem CAD/CAM Programm, eine Röntgenstrahlungsquelle, einen Szintillationsschirm und ein Silizium-Sensorfeld auf. Der Prozessor enthält Befehle, um ein entsprechendes dreidimensionales Bild in einem Koordinatensystem des CAD/CAM Programms entstehen zu lassen.

Insbesondere bei der industriellen Serienfertigung von Werkstücken nimmt der Bedarf an hochpräzisen, zerstörungsfreien und in die Fertigungslinie integrierbaren Messtechniken zu.

Unter einem Werkstück wird in dieser Beschreibung jegliche Art von Gegenständen verstanden, die in einem Bearbeitungsprozess bearbeitet werden und/oder in einem Herstellungsprozess erzeugt und/oder verwendet werden. Beispielsweise kann das Werkstück selbst bearbeitet werden und/oder bei einer Montage mit anderen Werkstücken kombiniert werden. Das Werkstück kann auch aus verschiedenen miteinander verbundenen Teilen bestehen.

Weiterhin besteht zunehmend Bedarf, nicht nur einige ausgewählte Abmessungen des Werkstücks und ihre relative Lage zueinander zu bestimmen, sondern jedenfalls die Möglichkeit zu haben, auch schwer zugängliche Bereiche des Werkstücks vermessen zu können. Beispielsweise kann es für die Funktionsfähigkeit eines Werkstücks wesentlich auf die präzise Einhaltung der vorgegebenen Abmessungen und Ausformungen im Bereich eines Hohlraums ankommen.

Mit Messverfahren auf der Basis einer Messstrahlung, die das Material des Werkstücks durchdringt und deren Intensität gemessen wird, können zwar Informationen über die Lage solcher Hohlräume gewonnen werden, jedoch sind diese Informationen bezüglich der Koordinaten der Materialoberflächen und etwaiger Materialübergänge unscharf.

Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren und eine Messanordnung zum Bestimmen von Koordinaten eines Werkstücks anzugeben, die eine Vermessung verschiedenartiger Merkmale eines Werkstücks ermöglichen, wobei eine Optimierung des Messaufwandes und der Messkosten möglich sein soll. In besonderer Ausgestaltung soll das Verfahren bzw. die Messanordnung bei vertretbarem betriebswirtschaftlichem Aufwand für die Vermessung von Werkstücken mit hohlen oder schwer zugänglichen Bereichen geeignet sein.

Es wird ein Verfahren zum Bestimmen von Koordinaten eines Werkstücks vorgeschlagen, wobei ein erstes Koordinatensystem festgelegt wird, das bezüglich dem Werkstück fest positioniert ist, wobei erste Koordinaten des Werkstücks unter Verwendung einer ersten Koordinatenmesseinrichtung gemessen werden, wobei zweite Koordinaten des Werkstücks unter Verwendung einer zweiten Koordinatenmesseinrichtung gemessen werden und wobei aus den ersten Koordinaten und aus den zweiten Koordinaten ein gemeinsamer Satz Koordinaten in dem ersten

Koordinatensystem oder in einem zweiten bezüglich dem Werkstück fest positionierten Koordinatensystem erzeugt wird.

Insbesondere können Koordinaten einer Vielzahl der Werkstücke während und/oder nach einem Herstellungsprozess und/oder Bearbeitungsprozess der Werkstücke bestimmt werden.

Durch die Verwendung von verschiedenen Koordinatenmesseinrichtungen können verschiedenartige Merkmale des Werkstücks vermessen werden, Merkmale des Werkstücks mit unterschiedlicher Geschwindigkeit und/oder Genauigkeit vermessen werden und/oder während eines Herstellungsprozesses des Werkstücks neu hinzugekommene Merkmale lediglich mit einer der Koordinatenmesseinrichtungen vermessen werden. Es bestehen gegenüber der Messung mit nur einer Koordinatenmesseinrichtung erweiterte Möglichkeiten. Durch eine Aufteilung der zu vermessenden Merkmale des Werkstücks in Merkmale, die mit der ersten und mit der zweiten Koordinatenmesseinrichtung vermessen werden, ist eine Optimierung hinsichtlich der Messkosten, der Messpräzision und/oder der Messgeschwindigkeit möglich.

Bevorzugtermaßen werden in der ersten Koordinatenmesseinrichtung und in der zweiten Koordinatenmesseinrichtung unterschiedliche Messprinzipien zur Messung der Koordinaten angewendet. Insbesondere kommen z. B. verschiedene klassische Messprinzipien wie taktiles Abtasten von Oberflächen in Frage.

Beispielsweise ist die eine der Koordinatenmesseinrichtungen eine Einrichtung mit einem Tastkopf, der das Werkstück unter Berührung einer Oberfläche antastet und auf diese Weise die Koordinaten bestimmt. Auch berührungslos die Oberfläche des Werkstücks abtastende Einrichtungen können eingesetzt werden (z. B. optisches Abtasten von Oberflächen, insbesondere durch die sogenannte Streifen- oder Gitterprojektion).

Vorzugsweise wird als die andere der Koordinatenmesseinrichtungen eine Einrichtung verwendet, die zum Bestimmen von Informationen über das Werkstück Strahlung einsetzt, die das Material des Werkstücks durchdringt und dabei geschwächt und/oder abgelenkt wird. Beispiele hierfür sind Computertomografie-Einrichtungen auf der Basis

von Röntgen-, Elektronen- und/oder Positronenstrahlung. Insbesondere bei solchen Systemen werden die Außen- und Innenkonturen des Werkstücks unscharf erfasst, wobei z. B. ein Übergang von geringen Grauwerten zu hohen Grauwerten eine Oberfläche oder Kante des Werkstücks darstellt. Auch ist die Art der Unschärfe, die insbesondere durch die Extinktion und die Beugung der Strahlung bestimmt ist, von dem Material des Werkstücks abhängig. Die Erfindung ist jedoch nicht auf die Verwendung derartiger Einrichtungen als die andere Koordinatenmesseinrichtung beschränkt. Vielmehr können beispielsweise auch berührungslos die Oberfläche des Werkstücks abtastende Einrichtungen eingesetzt werden, die z. B. Oberflächen des Werkstücks optisch abtasten (insbesondere durch die sogenannte Streifen- oder Gitterprojektion).

Allgemeiner formuliert wird vorzugsweise eine erste Koordinatenmesseinrichtung verwendet, die präzisere (erste) Koordinaten der von ihr erfassten Konturen liefert und werden die von der zweiten Koordinatenmesseinrichtung ermittelten zweiten Koordinaten unter Verwendung der ersten Koordinaten auf ein bezüglich dem Werkstück fest positioniertes Koordinatensystem bezogen. Insbesondere kann hierfür ein aus den ersten Koordinaten ermittelter Abstand von Messpunkten (z. B. eine Länge oder ein Durchmesser des Werkstücks) verwendet werden. Liegt der Abstand fest, kann z. B. aus dem Abstand von Grauwerten gleicher Stärke an verschiedenen unscharfen Konturen ermittelt werden, wo sich die Konturen des Werkstücks befinden müssen.

Vorzugsweise wird nicht nur eine Abmessung zur Skalierung und/oder Positionierung der aus der zweiten Koordinatenmesseinrichtung ermittelten Informationen verwendet, sondern werden zumindest zwei Abmessungen verwendet. Dabei können die Abmessungen redundante und/oder nicht redundante Informationen enthalten und/oder können in verschiedene und/oder gleiche Richtungen orientiert sein. Durch eine Redundanz erhöht sich die Zuverlässigkeit der Skalierung und/oder Positionierung, durch nicht redundante Abmessungen kann in unterschiedlichen Richtungen skaliert und/oder positioniert werden.

Noch allgemeiner formuliert wird vorgeschlagen, dass durch die zweite Koordinatenmesseinrichtung Messwerte des Werkstücks (oder eines Referenzgegenstandes) in einem örtlichen Bereich gemessen werden, in dem sich ein

Rand oder Materialübergang des Werkstücks (oder des Referenzgegenstandes) befindet, wobei die durch die erste Koordinatenmesseinrichtung gemessenen ersten Koordinaten dazu verwendet werden, eine Position des Randes oder des Materialübergangs und die Messwerte einander zuzuordnen. Im Fall der Messung eines Referenzgegenstandes betreffen auch die ersten Koordinaten den Referenzgegenstand.

Die Bezeichnung „erste“ Koordinatenmesseinrichtung ist nicht dahingehend zu verstehen, dass die von ihr durchgeführte Messung oder von ihr durchgeführten Messungen vor der Messung oder den Messungen der zweiten Koordinatenmesseinrichtung stattfindet bzw. stattfinden. Vielmehr können die Messungen in beliebiger Reihenfolge, gleichzeitig und/oder wiederholt durchgeführt werden. Auch können ein oder mehrere weitere Koordinatenmesseinrichtungen vorgesehen sein. In der Praxis kann sich die Zeit der Messungen danach richten, wie die Messungen am besten in eine Produktionslinie und/oder Montagelinie integriert werden.

Die Erfindung kann insbesondere den Fall betreffen, dass das Werkstück zwischen den Messungen mit den beiden Koordinatenmesseinrichtungen in eine veränderte Position und/oder Lage gebracht wird. Dabei wird das Werkstück beispielsweise von der einen zu der anderen Messeinrichtung bewegt und/oder seine Lage und/oder Position so verändert, dass zusätzliche Messinformationen erhältlich sind.

Zusätzlich ist es (z. B. bei Koordinatenmesseinrichtungen mit das Werkstück durchdringender Strahlung) möglich oder u. U. sogar erforderlich, das Werkstück auch während der Messung zu bewegen (z. B. um Koordinaten in einem dreidimensionalen Koordinatensystem zu erhalten).

Die ersten Koordinaten und/oder die zweiten Koordinaten können in einem Referenzkoordinatensystem oder jeweils in einem Referenzkoordinatensystem gemessen werden.

Bei einer Ausgestaltung der Erfindung werden das Werkstück und zumindest ein Referenzgegenstand fest miteinander verbunden, wobei durch die erste Koordinatenmesseinrichtung und durch die zweite Koordinatenmesseinrichtung Referenzkoordinaten des oder der Referenzgegenstände gemessen werden und wobei der gemeinsame Satz Koordinaten unter Verwendung der Referenzkoordinaten erzeugt

wird. Dabei können die erste und die zweite Koordinatenmesseinrichtung verschiedene Referenzkoordinatensysteme verwenden, bzgl. denen die ersten bzw. zweiten Koordinaten gemessen werden. Beispielsweise ist dies dann sinnvoll, wenn das Werkstück von der einen Koordinatenmesseinrichtung in einer Messposition vermessen wird, in der der Referenzgegenstand oder die Referenzgegenstände nicht in der gleichen Weise erfassbar sind wie von der anderen Koordinatenmesseinrichtung. In diesem Fall können sich die Koordinatenmesseinrichtungen z. B. auf verschiedene Referenzgegenstände oder verschiedene Merkmale desselben Referenzgegenstandes beziehen, um das Referenzkoordinatensystem zu ermitteln. Bevorzugt wird jedoch, dass sich die Koordinatenmesseinrichtungen auf dasselbe Referenzkoordinatensystem beziehen, und die Werkstück-Koordinaten in diesem Koordinatensystem gemessen werden. Diese Ausgestaltung vereinfacht die Erzeugung des gemeinsamen Satzes von Koordinaten in dem Werkstück-festen Koordinatensystem.

Der oder die Referenzgegenstände sind bzw. werden unmittelbar und/oder indirekt mit dem Werkstück verbunden.

Insbesondere können durch die erste Koordinatenmesseinrichtung, durch die zweite Koordinatenmesseinrichtung oder durch eine weitere Koordinatenmesseinrichtung Koordinaten des Werkstücks und Referenzkoordinaten des oder der Referenzgegenstände gemessen werden, wobei daraus Informationen über eine relative Lage und Orientierung des oder der Referenzgegenstände einerseits und des Werkstücks andererseits gewonnen werden und wobei der gemeinsame Satz Koordinaten unter Verwendung der Informationen über die relative Lage und Orientierung erzeugt wird. Bei unveränderter relativer Lage und Orientierung kann dann eine absolute Orientierung und/oder Position des oder der Referenzgegenstände mit dem daran befestigten Werkstück zwischen der Messung der ersten Koordinaten und der Messung der zweiten Koordinaten verändert werden. Zur Gewinnung der Informationen über die relative Lage und Orientierung werden beispielsweise einerseits Koordinaten zumindest eines charakteristischen Formmerkmals des Werkstücks in einem bzgl. der jeweiligen Koordinatenmesseinrichtung festliegenden Koordinatensystem gemessen und andererseits Koordinaten des oder der Referenzgegenstände in demselben Koordinaten System gemessen.

Bei dem Referenzgegenstand oder den Referenzgegenständen kann es sich um beliebige geeignete Gegenstände handeln. Insbesondere sind Kugeln geeignet, da diese aus verschiedenen Richtungen und von verschiedenen Koordinatenmesseinrichtungen zuverlässig und präzise erfasst (abgetastet oder auf andere Weise erfasst) werden können.

Bei einer bevorzugten Ausgestaltung, auf die unter Bezugnahme auf die beigelegten Figuren noch näher eingegangen wird, ist das Werkstück während den von den Koordinatenmesseinrichtungen durchgeführten Messungen auf einer Palette befestigt. Die Palette weist beispielsweise eine formstabile Platte auf, auf der das Werkstück angeordnet ist. Eine solche Platte hat den Vorteil, dass das Werkstück lediglich von einer Seite abgedeckt ist. An der Palette wiederum kann bzw. können der oder die Referenzgegenstände befestigt sein. Die Palette mit dem daran befestigten Werkstück kann beispielsweise von einer Messstation zu einer anderen Messstation bewegt bzw. transportiert werden und kann in den Messstationen beliebig ausgerichtet werden. Alternativ zu der Palette kann ein anderer Gegenstand an dem Werkstück befestigt werden, der der zumindest eine Referenzgegenstand ist oder an dem der zumindest eine Referenzgegenstand angeordnet ist oder wird. Wenn zumindest eine der Messeinrichtungen eine Messstrahlung verwendet, die das Material des Werkstücks durchstrahlt, wird für die Palette vorzugsweise ein Material gewählt, das einen kleinen Absorptionskoeffizienten für die Messstrahlung aufweist.

Insbesondere um bei einer serienweisen Vermessung von Werkstücken den Aufwand bei der Bestimmung des Referenzkoordinatensystems zu reduzieren, wird bzw. werden der oder die Referenzgegenstände mit dem daran befestigten Werkstück in eine definierte Position bewegt, die bezüglich der ersten Koordinatenmesseinrichtung und/oder bezüglich der zweiten Koordinatenmesseinrichtung festgelegt ist. Zumindest ein Teil der Referenzkoordinaten, die ersten Koordinaten und/oder die zweiten Koordinaten werden gemessen, während sich der oder die Referenzgegenstände in der definierten Position befindet bzw. befinden. Durch die definierte Position ist auch die Lage des Referenzkoordinatensystems bekannt. Sind mehrere Referenzgegenstände oder Formmerkmale eines Referenzgegenstandes gleichzeitig in jeweils einer

definierten Position, ist außerdem auch eine Orientierung des Referenzkoordinatensystems bekannt.

Zum Umfang der Erfindung gehört außerdem eine Messanordnung zum Bestimmen von Koordinaten eines Werkstücks, wobei die Messanordnung folgendes aufweist:

- eine erste Koordinatenmesseinrichtung zur Messung von ersten Koordinaten des Werkstücks,
- eine zweite Koordinatenmesseinrichtung zur Messung von zweiten Koordinaten des Werkstücks,
- eine Bestimmungseinrichtung, die mit der ersten und der zweiten Koordinatenmesseinrichtung verbunden ist und die ausgestaltet ist, aus den ersten Koordinaten und aus den zweiten Koordinaten einen gemeinsamen Satz Koordinaten des Werkstücks zu erzeugen, wobei der gemeinsame Satz Koordinaten in einem Koordinatensystem definiert ist, das bezüglich dem Werkstück fest positioniert ist.

Insbesondere kann die Messanordnung eine Bewegungseinrichtung (z. B. ein Förderband und/oder einen Rollenförderer) aufweisen, die ausgestaltet ist, das Werkstück in eine Messposition zu bringen, in der die erste Koordinatenmesseinrichtung und/oder die zweite Koordinatenmesseinrichtung die ersten bzw. die zweiten Koordinaten des Werkstücks messen können. Diese Bewegungseinrichtung kann insbesondere ausgestaltet sein, eine Vielzahl der Werkstücke nacheinander in die Messposition zu bringen.

Ferner gehören zum Umfang der Erfindung:

- ein Computerprogramm mit Programmcode-Mitteln, die bei Ablauf auf einem Computer oder Computer-Netzwerk zumindest denjenigen Teil oder diejenigen Teile des erfindungsgemäßen Verfahrens in einer seiner Ausgestaltungen ausführen, der bzw. die eine Steuerung zumindest einer der Messeinrichtungen und/oder die Verarbeitung der durch die Messungen erhaltenen Messinformationen betrifft bzw. betreffen. Insbesondere können die Programmcode-Mittel in Form einer Datenstruktur auf einem computerlesbaren Datenträger gespeichert sein;

- der Datenträger mit den gespeicherten Programmcode-Mitteln; und
- ein entsprechendes Computerprogramm-Produkt. Dabei wird unter einem Computer-Programmprodukt das Programm oder die Programmcode-Mittel als handelbares Produkt verstanden. Es kann grundsätzlich in beliebiger Form vorliegen, so zum Beispiel auf Papier oder einem computerlesbaren Datenträger und kann insbesondere über ein Datenübertragungsnetz verteilt werden.

Im Folgenden wird die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert, die in den Figuren schematisch dargestellt sind. Die Erfindung ist jedoch nicht auf die Beispiele beschränkt. Gleiche Bezugsziffern in den einzelnen Figuren bezeichnen dabei gleiche oder funktionsgleiche bzw. hinsichtlich ihrer Funktionen einander entsprechende Elemente. Im Einzelnen zeigt:

- Fig. 1 eine schematische Darstellung einer Koordinatenmessenordnung mit zwei Koordinatenmesseinrichtungen;
- Fig. 2 eine Seitenansicht einer Fördereinrichtung zum Fördern einer Mehrzahl von Werkstücken nacheinander zu einer Messstation, in der Koordinaten des Werkstücks gemessen werden;
- Fig. 3 eine Ansicht von oben auf die Fördereinrichtung gemäß Fig. 2, wobei das Werkstück in der Messstation von einer Messstrahlung einer Koordinatenmesseinrichtung durchstrahlt wird;
- Fig. 4 eine Ansicht von oben auf eine weitere Fördereinrichtung, die die Werkstücke zu einer zweiten Messstation fördert, in der die Werkstücke von einer Koordinatenmesseinrichtung in Portalbauweise abgetastet werden;
- Fig. 5 die Messstation gemäß Fig. 4 in einer Seitenansicht:
- Fig. 6 eine Prinzipdarstellung einer Koordinatenmesseinrichtung, die ein Werkstück durchstrahlt, das eine Ausnehmung aufweist;

- Fig. 7 einen Verlauf von Messwerten, die durch die in Fig. 6 gezeigte Koordinatenmesseinrichtung gemessen wurden, entlang einer Koordinatenachse;
- Fig. 8 ein Flussdiagramm, das eine besonders bevorzugte Ausführungsform eines Verfahrens zum Bestimmen von Werkstück-Koordinaten darstellt;
- Fig. 9 ein Diagramm, das einen Aspekt der Bestimmung eines gemeinsamen Koordinatensatzes aus Messungen zweier Koordinatenmesseinrichtungen darstellt.

Die in Fig. 1 dargestellte Messanordnung 1 zum Bestimmen von Werkstück-Koordinaten weist eine erste Koordinatenmesseinrichtung 3 und eine zweite Koordinatenmesseinrichtung 5 auf. Die Figur zeigt ein Werkstück 9 mit einer Mehrzahl von Formmerkmalen, die mit dem Bezugszeichen 10 bezeichnet sind. Das Werkstück 9 ist in diesem Beispiel auf einem palettenartigen Träger 7 befestigt, z. B. festgeklemmt, festgeschraubt und/oder festgeklebt. Ebenfalls auf dem Träger 7 befestigt sind drei voneinander beabstandete Referenzgegenstände 8a, 8b, 8c, die jeweils im Bereich einer Ecke einer rechteckigen Oberfläche des Trägers 7 angeordnet sind. An einem (8b) der Referenzgegenstände ist mit drei Pfeilen angedeutet, dass die drei Referenzgegenstände ein Koordinatensystem definieren, das bezüglich dem Träger 7 fest positioniert ist. Dieses Koordinatensystem wird in der weiteren Beschreibung als Referenzkoordinatensystem bezeichnet und mit RKS abgekürzt. Die Referenzgegenstände 8 sind beispielsweise Kugeln.

Ebenfalls mit drei Pfeilen angedeutet ist ein werkstückeigenes Koordinatensystem WKS. Auf Grund der Befestigung des Werkstücks 9 an dem Träger 7 bleiben das RKS und das WKS in einer näherungsweise unveränderten relativen Position und relativen Orientierung zueinander. Es ist daher möglich, Koordinaten des Werkstücks 9 durch die verschiedenen Koordinatenmesseinrichtungen 3, 5 (und ggf. durch weitere Koordinatenmesseinrichtungen) in dem RKS zu messen und zu einem gewünschten Zeitpunkt in das WKS umzurechnen.

Auf Grund einer möglichen Veränderung der Temperatur, die während einer Messung durch eine der Koordinatenmesseinrichtungen 3, 5 und/oder zwischen Messungen durch

verschiedene der Koordinatenmesseinrichtungen 3, 5 stattfinden kann, können Veränderungen der Relativposition und der Skalierungen des RKS und des WKS auftreten. Es wird daher vorgeschlagen, die Temperatur zu messen und unter Berücksichtigung der thermischen Ausdehnungskoeffizienten der Materialien des Trägers 7 und des Werkstücks 9 die Veränderung zu berechnen. Vorzugsweise ist zur Messung der Temperatur ein Temperatursensor in den Träger 7 integriert.

In der Darstellung von Fig. 1 ist die Messung der Koordinaten des Werkstücks 9 durch Pfeile angedeutet, wobei die erste Koordinatenmesseinrichtung 3 und die zweite Koordinatenmesseinrichtung 5 Koordinaten desselben Werkstücks 9 messen, gleichzeitig und/oder nacheinander.

Die entsprechenden gemessenen Daten können z. B. von der ersten Koordinatenmesseinrichtung 3 zu einer Datenverarbeitungseinrichtung 11 übertragen werden, die die relative Position und Orientierung des RKS und des WKS berechnet und diese Informationen an die zweite Koordinatenmesseinrichtung 5 überträgt. Die Datenverarbeitungseinrichtung 11 kann alternativ oder zusätzlich weitere der in dieser Beschreibung beschriebenen Funktionen übernehmen, z. B. die Umrechnung der von den Koordinatenmesseinrichtungen 3, 5 ermittelten Koordinaten in das WKS und/oder die Temperaturkorrektur.

Fig. 2 zeigt in Kombination mit Fig. 3 bis Fig. 5 eine besonders bevorzugte Ausführungsform der erfindungsgemäßen Koordinatenmessenordnung. Die Messanordnung weist eine Fördereinrichtung 12 auf, auf der eine Mehrzahl von Werkstücken 9 angeordnet ist. Bei den Werkstücken 9 kann es sich beispielsweise um die in Fig. 1 dargestellten Werkstücke 9 handeln, die auf einer Palette 7 mit daran befestigten Referenzgegenständen 8 angebracht sind. Die Fördereinrichtung 12 fördert eine Vielzahl der Werkstücke 9 nacheinander zu einer ersten Messstation 14, von der in Fig. 2 lediglich ein Anschlag 13 dargestellt ist. Etwas später als in der in Fig. 2 dargestellten Momentaufnahme erreicht eines der Werkstücke 9 den Anschlag 13 und somit eine definierte Position auf dem Förderweg. In dieser Position wird das Werkstück 9 mit Röntgenstrahlung aus einer Strahlungsquelle 17 durchstrahlt oder optisch gemessen. Eine aus Sicht der Strahlungsquelle 17 hinter dem Werkstück 9 angeordnete Sensoreinrichtung 16 zur Aufnahme eines zweidimensionalen Bildes der

auftreffenden Röntgenstrahlung dient dazu, die auf Grund der Schwächung und Beugung der Röntgenstrahlung durch das Werkstück 9 erzeugten Informationen zu erfassen. Beispielsweise indem die Strahlungsquelle 17 in zumindest eine andere Position gebracht wird, aus der die Röntgenstrahlung das Werkstück 9 aus einer anderen Richtung erreicht, werden weitere Röntgenbilder aufgenommen und durch eine nicht in Fig. 3 dargestellte Datenverarbeitungsanlage ein dreidimensionales Röntgenbild des Werkstücks 9 erzeugt. Die Messstation 14 ist so ausgelegt, dass auch die auf der Palette 7 angeordneten Referenzgegenstände 8 in den Röntgenbildern mit enthalten sind.

Fig. 4 zeigt eine weitere Fördereinrichtung 12 der Messanordnung, auf der dieselben Werkstücke 9 wie von der in Fig. 3 gezeigten Fördereinrichtung, entweder vorher oder nachher, zu einer zweiten Messstation 15 gefördert werden. Die zweite Messstation 15 weist einen Messtisch 21 auf, der von der Fördereinrichtung 12 beabstandet angeordnet ist. Von der in Fig. 4 gezeigten Fördereinrichtung 12 gelangt das Werkstück 9 beispielsweise durch einen beweglichen Greifer auf den Messtisch 21. Wie aus Fig. 5 erkennbar ist, handelt es sich bei der Messstation 15 um ein Koordinatenmessgerät 20 in Portalbauweise. Zwei längs in horizontaler Richtung verschieblich gelagerte Säulen 22, 23 des Koordinatenmessgeräts 20 tragen eine Querführung 24, von der eine Pinole 25 querbeweglich gelagert ist. Die Pinole 25 und ein an ihrem unteren Ende befestigter Tastkopf 26 sind in vertikaler Richtung beweglich, sodass der Tastkopf 26 beliebige Positionen innerhalb eines Messbereichs des Koordinatenmessgeräts 20 erreichen kann.

Zur Messung der Koordinaten des Werkstücks 9 tastet der Tastkopf 26 unter Berührung der jeweiligen Oberflächen das Werkstück 9 und die Referenzgegenstände 8 auf der Palette 7 ab und werden dreidimensionale Koordinaten des Werkstücks 9 in einem durch die Referenzgegenstände 8 definierten Koordinatensystem aufgenommen. Wie noch näher unter Bezugnahme auf Fig. 8 und Fig. 9 beschrieben wird, ist es somit möglich, aus den in der ersten Messstation 14 und aus den in der zweiten Messstation 15 ermittelten Koordinaten des Werkstücks 9 einen gemeinsamen Satz Koordinaten in einem werkstückeigenen Koordinatensystem zu erzeugen. Weiterhin ist es möglich, wie noch unter Bezugnahme auf Fig. 6 und Fig. 7 näher erläutert wird, die Lage von Konturen des Werkstücks 9, die in der ersten Messstation unscharf aufgenommen werden, mit der in der zweiten Messstation erreichbaren Genauigkeit zu bestimmen.

Fig. 6 zeigt eine Strahlungsquelle 17 zur Erzeugung von Röntgenstrahlung (oder einer anderen Strahlung, die geeignet ist, das Material eines Werkstücks 9 zu durchdringen), ein Werkstück 9 und eine Sensoreinrichtung zur Aufnahme eines zweidimensionalen Bildes der auftretenden Strahlung. Wie durch eine Drehachse 18 angedeutet ist, kann das Werkstück 9 gedreht werden und dadurch unter verschiedenen Blickwinkeln eine Vielzahl von zweidimensionalen Bildern aufgenommen werden, sodass ein dreidimensionales Bild des Werkstücks 9 rechnerisch ermittelbar ist.

Das Werkstück 9 weist eine tiefe und schmale Ausnehmung auf, deren Oberflächenkoordinaten mit Koordinatenmessgeräten, welche die Oberflächen abtasten, nicht oder nur eingeschränkt gemessen werden können. Es wird daher vorgeschlagen, eine Messeinrichtung von der Art, wie sie in Fig. 6 dargestellt ist, mit einer weiteren, die Oberfläche abtastenden Messeinrichtung zu kombinieren und die gewünschten Koordinaten des Werkstücks aus Messungen mit beiden Messeinrichtungen zu berechnen.

Fig. 7 zeigt (aus Gründen der Übersichtlichkeit und einfachen Darstellung nur in einer Dimension) Ergebnisse eines dreidimensionalen räumlichen Strahlungsabsorptionsfeldes, das aus einer Vielzahl von zweidimensionalen Bildern der in Fig. 6 gezeigten Messanordnung berechnet wurde. Das Strahlungsabsorptionsfeld entspricht der durch das Werkstück 9 bewirkten Strahlungsabsorption an der jeweiligen Stelle des dreidimensionalen Raumes. In dem Diagramm von Fig. 7 ist die Absorption I eines Werkstückbereiches in x -Richtung dargestellt, der eine Länge L hat. Mit anderen Worten: in x -Richtung liegen die Materialoberflächen des Werkstückbereichs um eine Länge L voneinander entfernt. Zwischen den Materialoberflächen befindet sich ein hinsichtlich der Strahlungsabsorption homogenes Material des Werkstücks.

Wie aus der schematischen Darstellung in Fig. 7 erkennbar ist, nimmt die gemessene Absorption an den Materialoberflächen nicht stufenartig zu bzw. ab. Vielmehr werden die Materialoberflächen durch die Absorptionsmessung nur unscharf erfasst. Es besteht in x -Richtung eine Unschärfe der Breite D . Ist die Länge L bekannt, kann die tatsächliche Lage der Materialoberflächen in x -Richtung bestimmt werden. Beispielsweise kann hierfür angenommen werden, dass die beiden einander gegenüberliegenden Materialoberflächen gleich unscharfe Absorptionsverläufe

aufweisen. In diesem Fall ergibt sich die Lage der Materialoberflächen aus dem Abstand von zwei gleich großen Absorptionswerten, wobei der Abstand gleich der Länge L ist. Die Länge L wird beispielsweise aus einer exakten Messung durch ein die Materialoberflächen abtastendes Koordinatenmessgerät bestimmt. Der gesamte Vorgang kann als Kalibrierung bezeichnet werden. Alternativ oder zusätzlich kann die Kalibrierung anhand zumindest eines Referenzgegenstandes durchgeführt werden, z. B. an Materialoberflächen der auf der Palette 7 befestigten Kugeln 8.

Eine besonders bevorzugte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird nun anhand des Flussdiagramms von Fig. 8 beschrieben.

In einem Schritt S0 wird zunächst ein Werkstück mit einer Mehrzahl von Referenzgegenständen fest verbunden und in einem folgenden Schritt S1 in eine erste Messposition gebracht, in der eine erste Koordinatenmesseinrichtung Koordinaten des Werkstücks und der Referenzgegenstände messen kann. Anstelle einer Mehrzahl von Referenzgegenständen kann auch ein einziger Referenzgegenstand fest mit dem Werkstück verbunden werden, wobei der Referenzgegenstand von einer Koordinatenmesseinrichtung erfassbare Merkmale (z. B. Formmerkmale und/oder optisch erkennbare Merkmale) aufweist, die die Bestimmung eines durch den Referenzgegenstand definierten Koordinatensystems durch die Koordinatenmesseinrichtung ermöglichen.

In einem folgenden Schritt S2 werden das Werkstück und die Referenzgegenstände von der ersten Koordinatenmesseinrichtung vermessen und werden die relative Position und Orientierung eines durch die Referenzgegenstände definierten Referenzkoordinatensystems RKS einerseits und eines werkstückeigenen Koordinatensystems WKS andererseits bestimmt. Die Informationen über die relative Position und Orientierung des RKS und des WKS werden in einem anschließenden Schritt S7 gespeichert. Die Bestimmung der relativen Position und Orientierung kann alternativ oder zusätzlich zu einem späteren Zeitpunkt erfolgen und insbesondere durch eine zweite Koordinatenmesseinrichtung durchgeführt werden.

In einem auf den Schritt S2 folgenden Schritt S3 werden von der ersten Koordinatenmesseinrichtung erste Koordinaten des Werkstücks in dem RKS gemessen.

Hat die Bestimmung der relativen Position und Orientierung des RKS und des WKS bereits stattgefunden und hat sich die Lage des RKS relativ zu der ersten Koordinatenmesseinrichtung seitdem nicht verändert, können die ersten Koordinaten unmittelbar in dem WKS gemessen und/oder gespeichert werden.

Es folgt nun ein optionaler Schritt S4, in dem das Werkstück mit den daran befestigten Referenzgegenständen (oder dem Referenzgegenstand) in eine veränderte Lage und/oder Position gebracht wird. Vor dem nächsten Schritt S5 ist das Werkstück auf jeden Fall in eine Lage und Position zu bringen, sodass zumindest Koordinaten eines Teils des Werkstücks von einer zweiten Koordinatenmesseinrichtung gemessen werden können. Weiterhin muss es der zweiten Koordinatenmesseinrichtung in dieser Lage und Position möglich sein, das RKS selbst zu bestimmen (d. h. den Bezug zu seinem eigenen Koordinatensystem herzustellen) oder zumindest ein weiteres, zweites RKS zu bestimmen. Durch Informationen über die Referenzgegenstände oder den Referenzgegenstand können Koordinaten, die in verschiedenen der Referenzkoordinatensystemen vorliegen, in ein gemeinsames Koordinatensystem umgerechnet werden.

Insbesondere können zwei oder mehrere verschiedene RKS von einer der Koordinatenmesseinrichtungen bestimmt werden und jeweils die entsprechenden relativen Lagen und Orientierungen des RKS und des WKS ermittelt werden. Dies ist insbesondere dann von Vorteil, wenn der anderen Koordinatenmesseinrichtung nicht dieselben Merkmale des oder der Referenzgegenstände zugänglich sind und daher ein bestimmtes RKS nicht von ihr bestimmt werden kann.

Im folgenden Schritt S5 bestimmt die zweite Koordinatenmesseinrichtung das RKS (oder das zweite RKS). Optional werden der zweiten Koordinatenmesseinrichtung vor oder nach Ausführung des folgenden Schritts S6 die von der ersten Koordinatenmesseinrichtung ermittelten Informationen über die relative Lage und Orientierung des RKS und des WKS zugeführt. In Schritt S6 werden nun durch die zweite Koordinatenmesseinrichtung zweite Koordinaten des Werkstücks gemessen. Schritt S5 und Schritt S6 können auch vertauscht werden. Stehen die Informationen über die relative Lage und Orientierung des RKS und des WKS bereits vor der Messung

der zweiten Koordinaten zur Verfügung, können die zweiten Koordinaten unmittelbar in dem WKS gemessen und/oder gespeichert werden.

In einem abschließenden Schritt S8 wird nun aus den ersten Koordinaten und aus den zweiten Koordinaten ein gemeinsamer Satz Koordinaten erzeugt, und zwar in einem Koordinatensystem, das bezüglich des Werkstücks festliegt. Insbesondere können in diesem Schritt die jeweils in dem RKS oder in einem der RKS gemessenen ersten und zweiten Koordinaten - unter Ausnutzung der Informationen über die relative Lage und Orientierung des Werkstücks und des oder der Referenzgegenstände - in das WKS umgerechnet werden. Weiterhin kann in diesem Schritt, falls erforderlich, die oben beschriebene Kalibrierung durchgeführt werden.

Unter Bezugnahme auf Fig. 9 soll noch verdeutlicht werden, wie die Informationen über die Lage und Position des oder der Referenzkoordinatensysteme relativ zu dem Werkstück (im Folgenden: "die Relativinformation") genutzt werden können. Die in Fig. 9 dargestellten Schritte können auch jeweils eine als Hardware und/oder Software realisierte Einrichtung sein. Schritt S11 entspricht in diesem Fall einer Einrichtung zur Ermittlung der Relativinformation, Schritt S12 einer Auswertungseinrichtung, die beispielsweise den Schritt S8 von Fig. 8 ausführt, Schritt S14 einem Datenprozessor einer ersten Koordinatenmesseinrichtung und Schritt S13 einem Datenprozessor einer zweiten Koordinatenmesseinrichtung.

Gemäß einem in Fig. 9 durch ununterbrochene Linien dargestellten Ausführungsbeispiel werden in Schritt S13 und Schritt S14 die zweiten bzw. die ersten Koordinaten des Werkstücks in dem oder einem der Referenzkoordinatensysteme bestimmt. Ferner wird die Relativinformation in Schritt S11 ermittelt. Die Schritte S11, S13 und S14 können in beliebiger zeitlicher Reihenfolge und/oder gleichzeitig durchgeführt werden. Auch kann zumindest eine weitere Koordinatenmesseinrichtung vorgesehen sein, die dritte oder weitere Koordinaten des Werkstücks misst und/oder die für die Bestimmung der Relativinformation erforderlichen Messungen durchführt. In Schritt S12 werden die gemessenen Koordinaten des Werkstücks unter Verwendung der Relativinformation verarbeitet, um den gemeinsamen Satz Koordinaten zu erzeugen.

Wie durch die unterbrochenen Linien in Fig. 9 angedeutet ist, kann die Relativinformation aus gemessenen Koordinaten der ersten und/oder zweiten Koordinatenmesseinrichtung bestimmt werden. Enthalten die gemessenen Koordinaten (des Werkstücks und des oder der Referenzgegenstände) die entsprechenden Informationen, die die Grundlage für die Relativinformation bilden, bedeutet dies, dass die jeweilige Koordinatenmesseinrichtung die Koordinaten sowohl in dem Referenzkoordinatensystem als auch in dem werkstückeigenen Koordinatensystem (oder in dem Koordinatensystem der Koordinatenmesseinrichtung) messen kann bzw. in eines der Koordinatensysteme umrechnen kann. Folglich ist eine zentrale Auswertung der gemessenen Koordinaten zur Bestimmung des gemeinsamen Satzes Koordinaten nicht zwingend erforderlich. Vielmehr kann z. B. eine der Koordinatenmesseinrichtungen diese Funktion übernehmen.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Bestimmen von Koordinaten eines Werkstücks (9), wobei
 - ein erstes Koordinatensystem festgelegt wird, das bezüglich dem Werkstück (9) fest positioniert ist,
 - erste Koordinaten des Werkstücks (9) unter Verwendung einer ersten Koordinatenmesseinrichtung (3) gemessen werden,
 - zweite Koordinaten des Werkstücks (9) unter Verwendung einer zweiten Koordinatenmesseinrichtung (5) gemessen werden,
 - aus den ersten Koordinaten und aus den zweiten Koordinaten ein gemeinsamer Satz Koordinaten in dem ersten Koordinatensystem oder in einem zweiten bezüglich dem Werkstück (9) fest positionierten Koordinatensystem erzeugt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Werkstück (9) und zumindest ein Referenzgegenstand (8) fest miteinander verbunden werden, wobei durch die erste Koordinatenmesseinrichtung (3) und durch die zweite Koordinatenmesseinrichtung (5) Referenzkoordinaten des oder der Referenzgegenstände (8) gemessen werden und wobei der gemeinsame Satz Koordinaten unter Verwendung der Referenzkoordinaten erzeugt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei durch die erste Koordinatenmesseinrichtung (3), durch die zweite Koordinatenmesseinrichtung (5) oder durch eine weitere Koordinatenmesseinrichtung Koordinaten des Werkstücks (9) und Referenzkoordinaten des oder der Referenzgegenstände (8) gemessen werden, wobei daraus Informationen über eine relative Lage und Orientierung des oder der Referenzgegenstände (8) einerseits und des Werkstücks (9) andererseits gewonnen werden und wobei der gemeinsame Satz Koordinaten unter Verwendung der Informationen über die relative Lage und Orientierung erzeugt wird.

4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, wobei der oder die Referenzgegenstände (8) mit dem daran befestigten Werkstück (9) in eine definierte Position bewegt wird bzw. werden, die bezüglich der ersten Koordinatenmesseinrichtung und/oder bezüglich der zweiten Koordinatenmesseinrichtung festgelegt ist, und wobei zumindest ein Teil der Referenzkoordinaten, die ersten Koordinaten und/oder die zweiten Koordinaten gemessen werden, während sich der oder die Referenzgegenstände (8) in der definierten Position befindet bzw. befinden.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 4, wobei eine Orientierung und/oder Position des oder der Referenzgegenstände (8) mit dem daran befestigten Werkstück (9) zwischen der Messung der ersten Koordinaten und der Messung der zweiten Koordinaten verändert wird.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei in der ersten Koordinatenmesseinrichtung (3) und in der zweiten Koordinatenmesseinrichtung (5) unterschiedliche Messprinzipien zur Messung der Koordinaten angewendet werden.
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei durch die erste Koordinatenmesseinrichtung (20) eine Oberfläche des Werkstücks (9) abgetastet wird und dadurch Koordinaten zumindest eines Punktes an der Oberfläche des Werkstücks (9) gemessen werden.
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei durch die zweite Koordinatenmesseinrichtung (16, 17) ein Material des Werkstücks (9) durchstrahlt wird und daraus Koordinaten zumindest eines Punktes des Werkstücks (9) bestimmt werden.
9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei durch die zweite Koordinatenmesseinrichtung (16, 17) Messwerte des Werkstücks (9) und/oder eines Referenzgegenstandes (8) in einem örtlichen Bereich gemessen werden, in dem sich ein Rand oder Materialübergang des Werkstücks (9) und/oder des

Referenzgegenstandes (8) befindet, und wobei die durch die erste Koordinatenmesseinrichtung (20) gemessenen ersten Koordinaten dazu verwendet werden, eine Position des Randes oder des Materialübergangs und die Messwerte einander zuzuordnen.

10. Verfahren, wobei Koordinaten einer Vielzahl der Werkstücke (9) während und/oder nach einem Herstellungsprozess und/oder Bearbeitungsprozess der Werkstücke (9) gemäß dem Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche bestimmt werden.
11. Messanordnung (1) zum Bestimmen von Koordinaten eines Werkstücks (9), wobei die Messanordnung (1) folgendes aufweist:
 - eine erste Koordinatenmesseinrichtung (3) zur Messung von ersten Koordinaten des Werkstücks (9),
 - eine zweite Koordinatenmesseinrichtung (5) zur Messung von zweiten Koordinaten des Werkstücks (9),
 - eine Bestimmungseinrichtung (11), die mit der ersten und der zweiten Koordinatenmesseinrichtung (3, 5) verbunden ist und die ausgestaltet ist, aus den ersten Koordinaten und aus den zweiten Koordinaten einen gemeinsamen Satz Koordinaten des Werkstücks (9) zu erzeugen, wobei der gemeinsame Satz Koordinaten oder in einem zweiten bezüglich dem Werkstück (9) fest positionierten in einem Koordinatensystem definiert ist, das bezüglich dem Werkstück (9) fest positioniert ist.
12. Messanordnung nach dem vorhergehenden Anspruch, mit einer Bewegungseinrichtung (12), die ausgestaltet ist, das Werkstück (9) in eine Messposition zu bringen, in der die erste Koordinatenmesseinrichtung (20) und/oder die zweite Koordinatenmesseinrichtung (16, 17) die ersten bzw. die zweiten Koordinaten des Werkstücks (9) messen können.
13. Messanordnung nach dem vorhergehenden Anspruch, wobei die Bewegungseinrichtung (12) ausgestaltet ist, eine Vielzahl der Werkstücke (9) nacheinander in die Messposition zu bringen.

14. Computerprogramm zum Bestimmen von Koordinaten eines Werkstücks (9) mit Programmcode-Mitteln, die ausgestaltet sind, aus
 - ersten, unter Verwendung einer ersten Koordinatenmesseinrichtung (3) gemessenen Koordinaten des Werkstücks (9) und
 - zweiten, unter Verwendung einer zweiten Koordinatenmesseinrichtung (5) gemessenen Koordinaten des Werkstücks (9)einen gemeinsamen Satz Koordinaten in einem bezüglich dem Werkstück (9) fest positionierten Koordinatensystem zu erzeugen.
15. Computerprogramm nach Anspruch 14, wobei die Programmcode-Mittel . ausgestaltet sind, aus den ersten und/oder den zweiten Koordinaten des Werkstücks (9) und aus gemessenen Referenzkoordinaten zumindest eines Referenzgegenstandes (8) eine relative Lage und Orientierung des oder der Referenzgegenstände (8) einerseits und des Werkstücks (9) andererseits zu berechnen.
16. Computerprogramm mit Programmcode-Mitteln gemäß einem der beiden vorhergehenden Ansprüche, die auf einem computerlesbaren Datenträger gespeichert sind.
17. Datenträger oder Computersystem, auf dem eine Datenstruktur gespeichert ist, die nach einem Laden in einen Arbeits- und/oder Hauptspeicher eines Computers oder Computer-Netzwerkes das Computerprogramm nach Anspruch 14 oder 15 ausführt.
18. Computerprogramm-Produkt mit Programmcode-Mitteln nach Anspruch 14 oder 15.

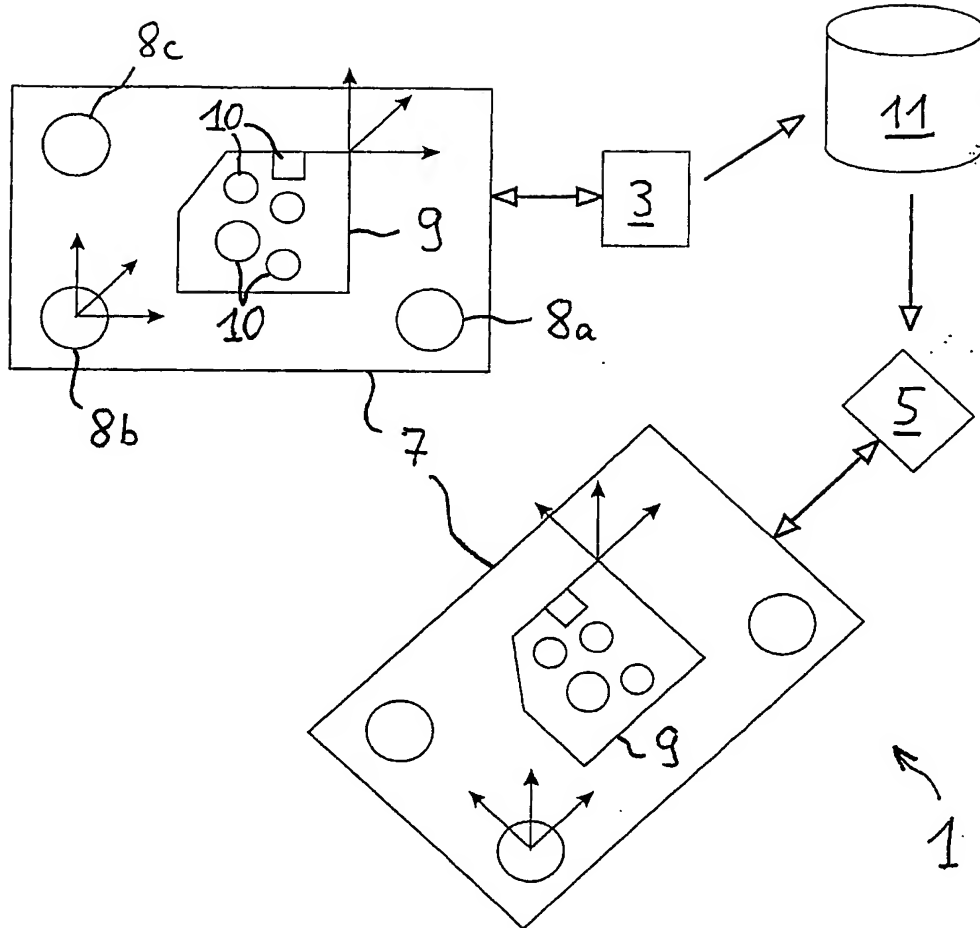
Anmelderin:
Carl Zeiss Industrielle Meßtechnik GmbH
73734 Esslingen

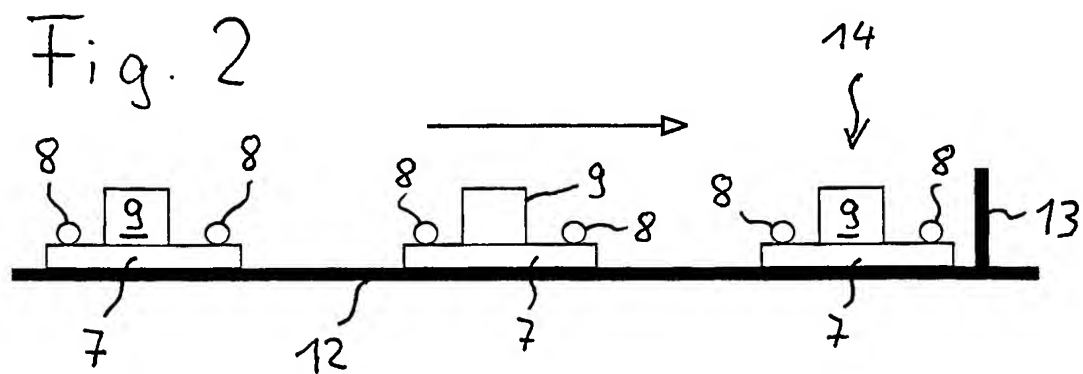
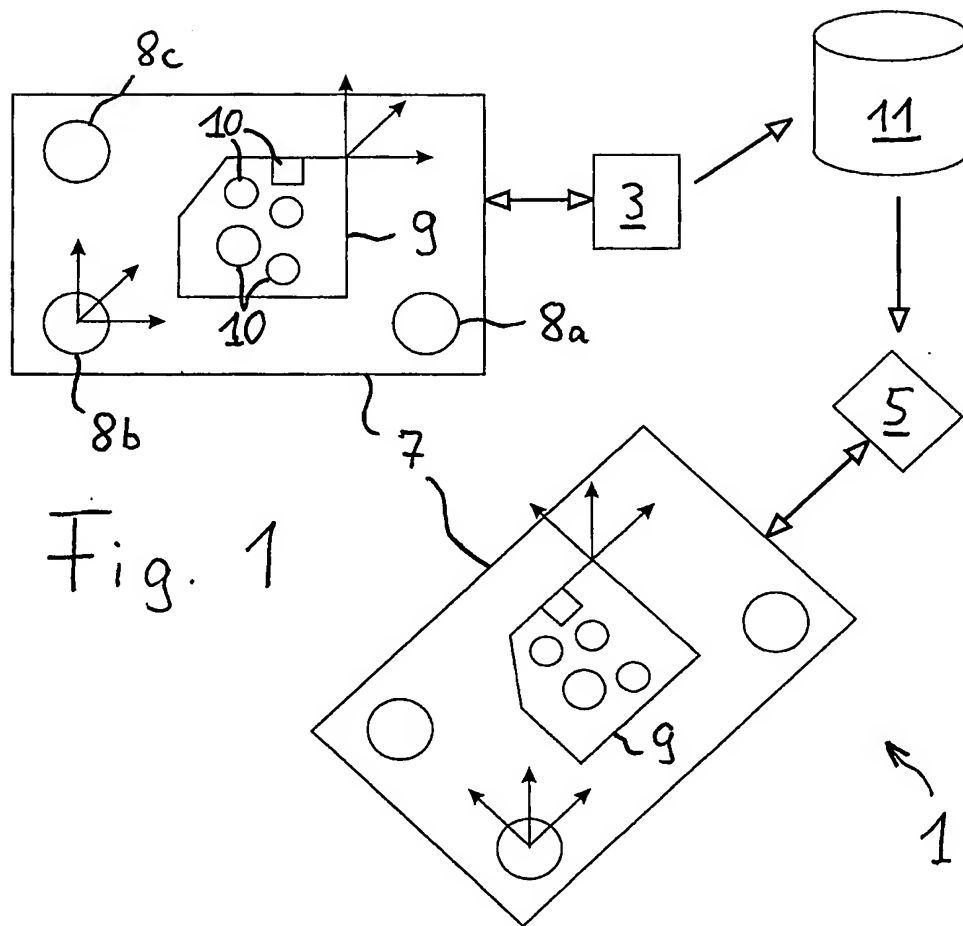
Bestimmung von Koordinaten eines Werkstücks

Zusammenfassung

Die Erfindung betrifft die Bestimmung von Koordinaten eines Werkstücks (9), wobei ein erstes Koordinatensystem festgelegt wird, das bezüglich dem Werkstück (9) fest positioniert ist, wobei erste Koordinaten des Werkstücks (9) unter Verwendung einer ersten Koordinatenmesseinrichtung (3) gemessen werden, wobei zweite Koordinaten des Werkstücks (9) unter Verwendung einer zweiten Koordinatenmesseinrichtung (5) gemessen werden, wobei aus den ersten Koordinaten und aus den zweiten Koordinaten ein gemeinsamer Satz Koordinaten in dem ersten Koordinatensystem oder in einem zweiten bezüglich dem Werkstück (9) fest positionierten Koordinatensystem erzeugt wird.

(Fig. 1)





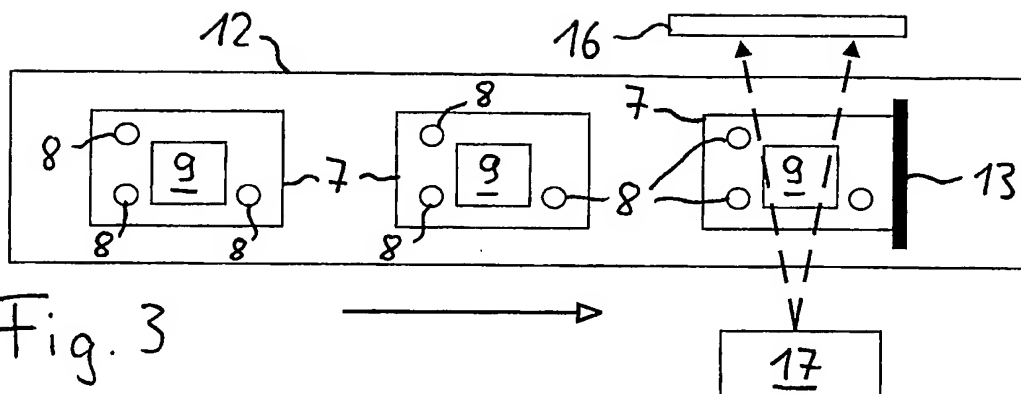


Fig. 3

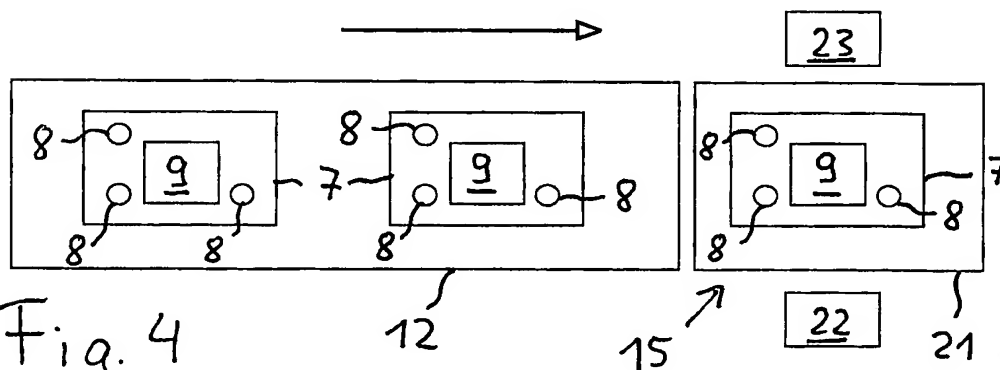


Fig. 4

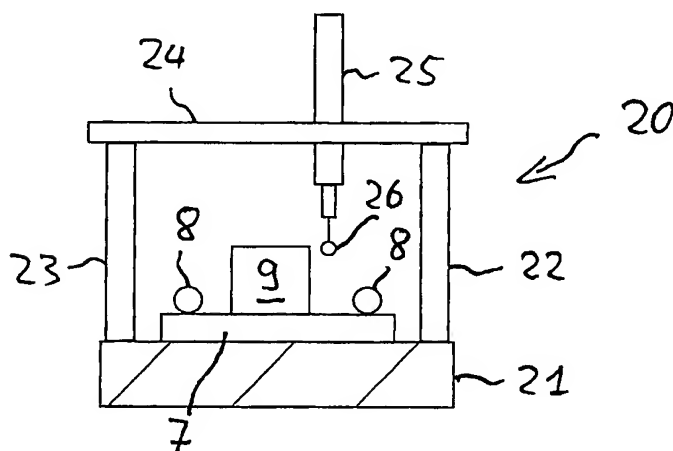


Fig. 5

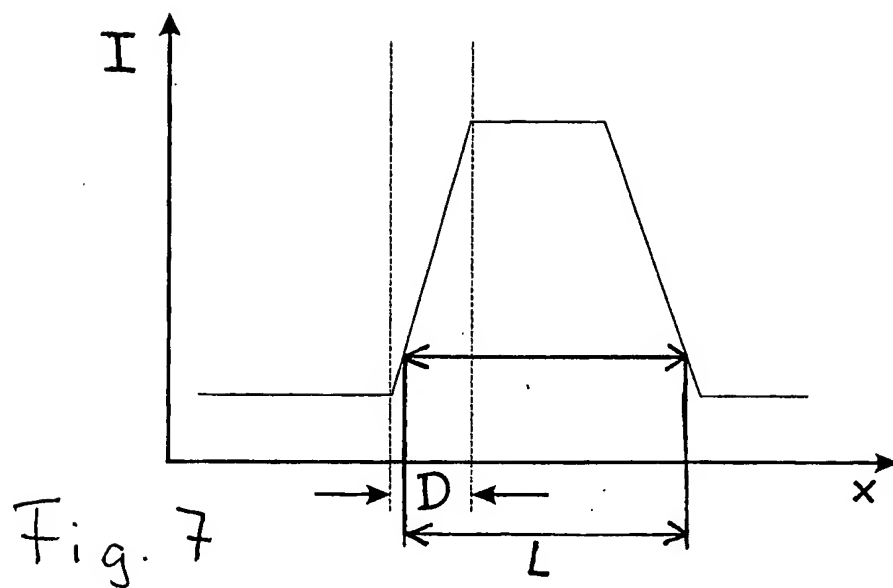
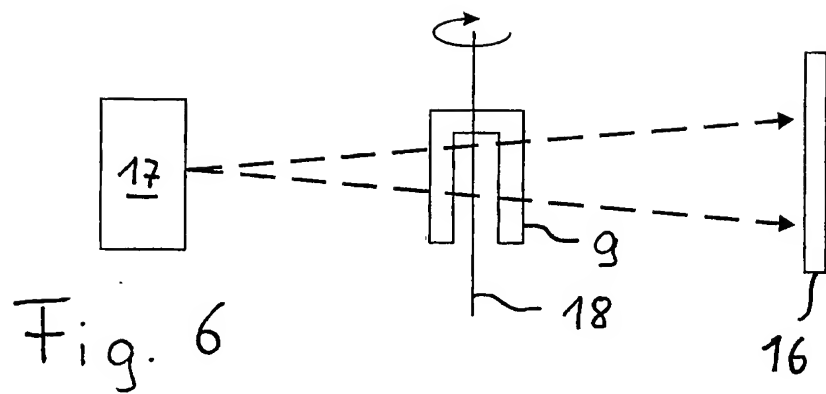


Fig. 8

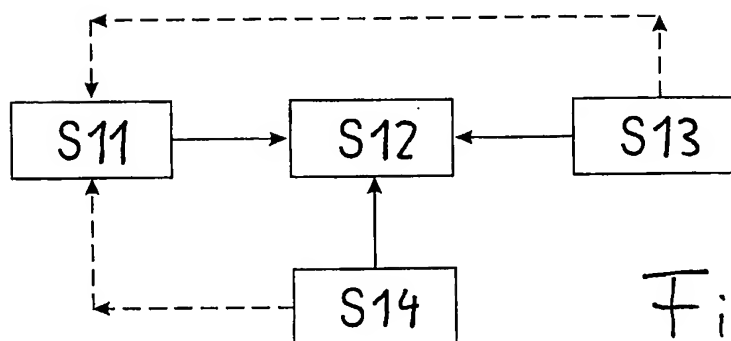
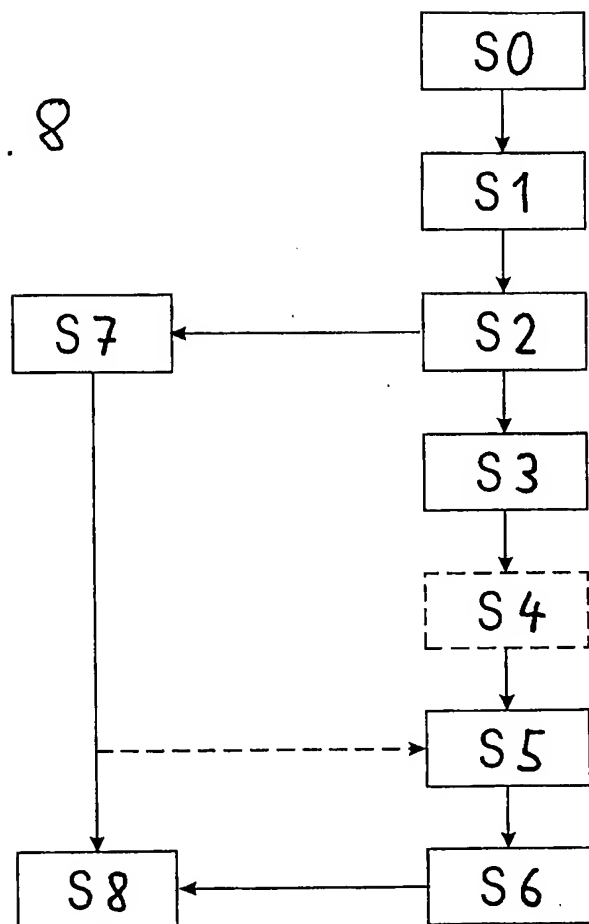


Fig. 9